

DEUTSCHES
PATENTAMT

- 21 Aktenzeichen: P 39 14 549.2
 22 Anmeldetag: 3. 5. 89
 43 Offenlegungstag: 8. 11. 90

DE 3914549 A1

⑦ Anmelder:

**Fortuna-Werke Maschinenfabrik GmbH, 7000
Stuttgart, DE**

⑦④ Vertreter:

Witte, A., Dipl.-Ing. Dr.-Ing.; Weller, W., Dipl.-Chem.
Dr.rer.nat., Pat.-Anwälte, 7000 Stuttgart

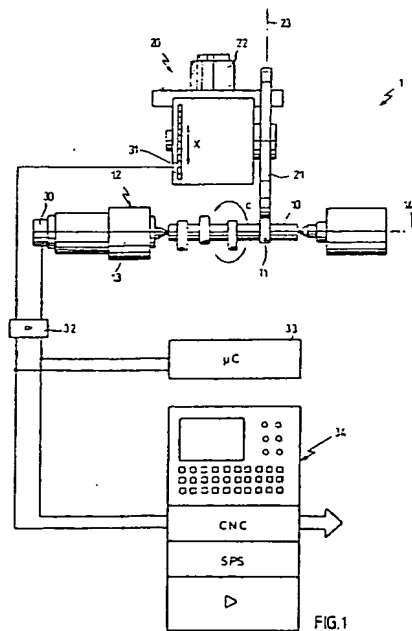
⑦② Erfinder:

Clauss, Siegbert, Dipl.-Ing. (FH), 7300 Esslingen, DE

Prüfungsantrag gem. § 44 PatG ist gestellt

⑤4 Verfahren zum Schleifen von Nocken einer Nockenwelle

Ein Verfahren dient zum Schleifen von Nocken (11) einer Nockenwelle (10) unter Verwendung einer numerisch gesteuerten Nockenwellen-Schleifmaschine (1), bei der die Nockenwelle (10) in einer Aufspannung (12) um eine mit ihrer Längsachse zusammenfallende erste Achse (14) drehbar und ein Schleifschlitten (20) mit einer Schleifscheibe (21) entlang einer zweiten Achse (23) radial auf die Nockenwelle (10) zustellbar ist. Die Drehung der Nockenwelle (10) um die erste Achse (14) ist in Abhängigkeit von der Verschiebung des Schleifschlittens (21) entlang der zweiten Achse (23) einstellbar. Zunächst wird eine Folge von Steuerbefehlen zur Einstellung der ersten und der zweiten Achse (14, 23) in Abhängigkeit von einer vorgegebenen Form des Nockens (11) erstellt. Alsdann wird die Aufspannung (12) um die erste Achse (14) verdreht und der Schleifschlitten (20) entlang der zweiten Achse (23) entsprechend den Steuerbefehlen verschoben. Dabei ist keine Nockenwelle (10) in die Aufspannung (12) eingespannt. Es werden nun die von der Aufspannung (12) eingenommenen Drehwinkel mittels eines Winkelsensors (30) sowie die von dem Schleifschlitten (20) durchgemessenen Verschiebewege mittels eines Längensensors (31) erfaßt. Es wird nun die Differenz der erfaßten Meßwerte von Drehwinkel und Verschiebeweg von den Steuerbefehlen gebildet. Die Steuerbefehle werden alsdann in Abhängigkeit von dieser Differenz modifiziert. Nun wird eine Nockenwelle (10) in die Aufspannung (12) eingespannt und die Nocken ...



Die Erfindung betrifft ein Verfahren zum Schleifen von Nocken einer Nockenwelle unter Verwendung einer numerisch gesteuerten Nockenwellen-Schleifmaschine, bei der die Nockenwelle in einer Aufspannung um eine mit ihrer Längsachse zusammenfallende erste Achse (C-Achse) drehbar und ein Schleifschlitten mit einer Schleifscheibe entlang einer zweiten Achse (X-Achse) radial auf die Nockenwelle zustellbar ist, wobei die Drehung der Nockenwelle um die erste Achse in Abhängigkeit von der Verschiebung des Schleifschlittens entlang der zweiten Achse einstellbar ist.

Ein Verfahren der vorstehend genannten Art ist allgemein bei numerisch gesteuerten Nockenwellen-Schleifmaschinen bekannt.

Es ist ferner bekannt, daß beim Schleifen von Nocken einer Nockenwelle verschiedenartige Formfehler auftreten, wenn die numerische Steuerung der Schleifmaschine sich ausschließlich an den vorgegebenen theoretischen Daten einer idealen Nockenkontur orientiert. Aus der DE-Z "Werkstatt und Betrieb", 118 (1985, Seite 443 bis 448) ist z.B. bekannt, mit vorgegebenen, auf einer idealen Nockenkontur beruhenden Steuerbefehlen zunächst im Probetrieb eine Nockenwelle zu schleifen, diese dann auszumessen, die Formfehler festzustellen und anhand der Formfehler die Steuerbefehle für die numerische Steuerung zu modifizieren.

Darüberhinaus sind auch Algorithmen vorgeschlagen worden, um aus Maschinenkonstanten, Werkstückgrößen sowie Bearbeitungsparametern Formfehler vorauszubestimmen und von vorneherein entsprechende Korrekturen an den Steuerbefehlen anzubringen.

Diese bekannten Vorgehensweisen haben jedoch den gemeinsamen Nachteil, daß sie recht aufwendig sind, so daß für einen praktischen Einsatz einige Aufwendungen betrieben werden müssen und es in der Praxis nicht möglich ist, bereits installierte Maschinen entsprechend nachzurüsten.

Der Erfindung liegt demgegenüber die Aufgabe zugrunde, ein Verfahren der eingangs genannten Art dahingehend weiterzubilden, daß mit äußerst einfachen Verfahrensschritten eine Korrektur der wesentlichen auftretenden Formfehler ermöglicht wird.

Diese Aufgabe wird gelöst durch die folgenden Verfahrensschritte:

- Erstellen einer Folge von Steuerbefehlen zur Einstellung der ersten und der zweiten Achse in Abhängigkeit von einer vorgegebenen Form der Nocken;
- Verdrehen der Aufspannung um die erste Achse und Verschieben des Schleifschlittens entlang der zweiten Achse entsprechend den Steuerbefehlen in Abwesenheit einer in die Aufspannung eingespannten Nockenwelle;
- Erfassen der von der Aufspannung eingenommenen Drehwinkel mittels eines Winkelsensors sowie der von dem Schleifschlitten durchmessenen Verschiebewege mittels eines Längensensors;
- Bilden einer Differenz der erfaßten Meßwerte von Drehwinkel und Verschiebeweg von den Steuerbefehlen;
- Modifizieren der Steuerbefehle in Abhängigkeit von der Differenz;
- Einspannen einer Nockenwelle in die Aufspannung und Schleifen der Nocken mit den modifizierten Steuerbefehlen.

Die der Erfindung zugrundeliegende Aufgabe wird auf diese Weise vollkommen gelöst, weil die Erfindung sich die Tatsache zunutze macht, daß der wesentliche Anteil der Nockenformfehler auf sog. Schleppfehlern der Nockenwellen-Schleifmaschine beruht.

Hierunter versteht man dynamische Fehler, die sich dadurch einstellen, daß an der Nockenwellen-Schleifmaschine im Betrieb erhebliche Massen bewegt werden müssen, wobei die auftretenden Trägheitskräfte umso größer sind, je mehr die Massen beschleunigt werden. Da man bei modernen Nockenwellen-Schleifmaschinen jedoch zu immer höheren Bearbeitungsgeschwindigkeiten übergeht und auch durch moderne Schleifscheibentechnologien immer höhere Zeitspannvolumina erzielbar sind, machen sich dynamische Schleppfehler der Nockenwellen-Schleifmaschine immer mehr bemerkbar.

Gemäß dem erfindungsgemäßen Verfahren werden diese dynamischen Schleppfehler dadurch kompensiert, daß zunächst ein Schleifvorgang ohne Werkstück simuliert wird, mit anderen Worten, die Schleifmaschine wird, ohne daß sie einen Zerspanungsvorgang durchführt, entlang den vorgegebenen Koordinaten bewegt, und es werden die real durchgemessenen Drehwinkel bzw. Verschiebewege gemessen. In diesen realen Meßwerten manifestieren sich die Schleppfehler als Abweichung von den theoretisch vorgegebenen Steuerbefehlen, so daß aus der Differenz der gemessenen Werte von den vorgegebenen Werten ein Korrektursignal gebildet werden kann, um die vorgegebenen Meßwerte zu kompensieren. Dies kann beispielsweise durch Wichtung, d.h. durch Multiplikation mit einem konstanten Faktor, geschehen.

Wenn dann die Nockenwellen-Schleifmaschine bei einem realen Schleifvorgang mit den modifizierten Steuerbefehlen betrieben wird, so sind die dynamischen Schleppfehler bereits kompensiert, und es entsteht ein Nocken mit der gewünschten idealen Kontur.

Zwar werden bei dem erfindungsgemäßen Verfahren diejenigen Formfehler nicht berücksichtigt, die sich aus dem speziellen Werkstück, beispielsweise aus der Steifigkeit der Nockenwelle, ergeben, diese Fehler liegen jedoch erfahrungsgemäß in ihrem Betrag weit unterhalb den dynamischen Schleppfehlern, so daß dieser verbleibende Restfehler in Kauf genommen werden kann.

Dies gilt umso mehr deswegen, weil die nach dem erfindungsgemäßen Verfahren erforderlichen Schritte äußerst einfach durchzuführen sind, so daß sie mit geringem Aufwand nicht nur bei neuen Nockenwellen-Schleifmaschinen vorgesehen sondern auch bei bereits installierten Maschinen nachgerüstet werden können.

Weitere Vorteile der Erfindung ergeben sich aus der Beschreibung der beigefügten Zeichnung.

Es versteht sich, daß die vorstehend genannten und die nachstehend noch zu erläuternden Merkmale nicht nur in der jeweils angegebenen Kombination, sondern auch in anderen Kombinationen oder in Alleinstellung verwendbar sind, ohne den Rahmen der vorliegenden Erfindung zu verlassen.

Ein Ausführungsbeispiel der Erfindung ist in der Zeichnung dargestellt und wird in der nachfolgenden Beschreibung näher erläutert. Es zeigen:

Fig. 1 eine äußerst schematisierte Ansicht einer Nockenwellen-Schleifmaschine, wie sie zur Durchführung des erfindungsgemäßen Verfahrens verwendet werden kann;

Fig. 2 ein Nockendiagramm zur Erläuterung des er-

findungsgemäßen Verfahrens.

In Fig. 1 bezeichnet 1 insgesamt eine Nockenwellen-Schleifmaschine, mit der das erfindungsgemäße Verfahren ausgeführt werden kann.

Eine Nockenwelle 10 mit Nocken 11 ist in herkömmlicher Weise in einer drehbaren Aufspannung 12 gehalten. Die Aufspannung 12 kann mittels eines Motors 13 in definierten Winkelschritten verdreht werden. Die Verdrehung der Nockenwelle 11 geschieht um ihre Längsachse, nämlich die sog. C-Achse 14 der Schleifmaschine 1.

Ein Schleifschlitten 20 ist ebenfalls in herkömmlicher Weise mit einer Schleifscheibe 21 versehen und mittels eines Motors 22 in Richtung einer zweiten Achse 23, der sog. X-Achse, radial auf die Nockenwelle 10 zustellbar. In der in Fig. 1 eingezeichneten Stellung befindet sich die Schleifscheibe 21 gerade in Anlage an einem Nocken 11 der Nockenwelle 10.

Ein Winkelsensor 30 ist an der Aufspannung 12 angeordnet, um die Winkelschritte, d.h. die Drehung um die erste Achse 14, die C-Achse, zu erfassen.

In entsprechender Weise ist ein Längensensor 31 am Schleifschlitten 20 angeordnet, um die Verschiebung der Schleifscheibe 21 entlang der zweiten Achse 23, der X-Achse, zu erfassen.

Die Ausgangssignale der Sensoren 30, 31 sind auf eine Impulsformer-Elektronik 32 geführt, in der die Sensorsignale in an sich bekannter Weise aufgearbeitet werden, um in einer Datenverarbeitungsanlage weiterverarbeitet werden zu können.

Mit 33 ist ein Computer zur Auswertung der Signale der Sensoren 30, 31 bezeichnet, während 34 eine übliche CNC-Steuerung der Schleifmaschine 1 bezeichnet.

Wie bei einem herkömmlichen Nockenwellen-Schleifverfahren geht man auch bei dem erfindungsgemäßen Verfahren zunächst so vor, daß eine Tabelle von Werten für die C-Achse 14 und die X-Achse 23 aufgestellt wird, d.h. eine Folge von Steuerbefehlen, mit denen die Motoren 13 und 22 relativ zueinander betätigt werden, um eine gewünschte theoretische Nockenform zu erzeugen. Die Steuerbefehle seien dabei mit C_i und X_i bezeichnet.

Würde man nun die Schleifmaschine 1 gemäß Fig. 1 mit diesen Steuerbefehlen C_i , X_i betreiben, so ergäben sich Formfehler der fertig geschliffenen Nocken 11 unter anderem deswegen, weil die bewegten Einheiten der Schleifmaschine 1, also die sich drehende Aufspannung 12, insbesondere aber der verschobene Schleifschlitten 20 mit dynamischen Schleppfehlern behaftet sind, weil infolge der hohen Masse der genannten Aggregate bei hohen Beschleunigungen auch entsprechende Trägheitskräfte auftreten.

In Fig. 2 bezeichnet 40 ein X/C-Diagramm für eine theoretisch gewünschte Nockenform.

Gemäß dem erfindungsgemäßen Verfahren wird nun zunächst ein "Probelauf" durchgeführt, in dem die Schleifmaschine 1 mit den theoretisch vorgegebenen Steuerbefehlen C_i , X_i , d.h. entsprechend dem Verlauf 40 verfahren wird, jedoch mit der Besonderheit, daß dies ohne eingespanntes Werkstück, d.h. in der Weise geschieht, daß keine Nockenwelle 10 in der Aufspannung 12 eingespannt ist.

Während dieses Probelaufes werden über die Sensoren 30 und 31 die real durchgemessenen Drehwinkel C bzw. Verschiebewege X von Aufspannung 12 bzw. Schleifschlitten 20 erfaßt.

Dabei ergibt sich infolge der erläuterten dynamischen Schleppfehler, daß ein vom Idealverlauf 40 abweichender

Verlauf, nämlich z.B. der in Fig. 2 gezeigte Verlauf 41, auftritt. Bezieht man die Meßwerte auf dieselbe Winkelstellung C_i , so zeigt sich, daß statt des theoretisch gewünschten Verschiebeweges X_{i1} sich ein realer Verschiebeweg X_{i2} einstellt.

In der Realität kann das Diagramm 41 so aufgenommen werden, daß die Winkelstellungen C und die Verschiebewege X jeweils über der Zeit t aufgenommen und dann später auf jeweils die gleichen Zeitpunkte bezogen zu einem Diagramm gemäß Fig. 2 verarbeitet werden.

Man kann nun die aufgetretene Differenz, also z.B. die in Fig. 2 eingezeichnete Differenz Δ_1 ermitteln, d.h. diejenige Differenz, die infolge der dynamischen Schleppfehler der Schleifmaschine 1 aufgetreten ist.

Um diese Differenz Δ_1 oder eine gegenüber Δ_1 gewichtete zweite Differenz Δ_2 kann man nun den vorgegebenen Steuerbefehl X_{i1} modifizieren und kommt so zu einem modifizierten Steuerbefehl X_{i3} . Insgesamt ergibt dies, wie Fig. 2 zeigt, einen modifizierten Verlauf 42. Man gibt also nach dem erfindungsgemäßen Verfahren definiert falsche Steuerbefehle vor, damit diese unter Berücksichtigung der realen dynamischen Schleppfehler zu einer idealen Nockenkontur führen. Mit den modifizierten Steuerbefehlen des Verlaufes 42 werden nun nach dem erfindungsgemäßen Verfahren die Nocken 11 der zu bearbeitenden Nockenwellen 10 geschliffen.

Patentanspruch

Verfahren zum Schleifen von Nocken (11) einer Nockenwelle (10) unter Verwendung einer numerisch gesteuerten Nockenwellen-Schleifmaschine (1), bei der die Nockenwelle (10) in einer Aufspannung (12) um eine mit ihrer Längsachse zusammenfallende erste Achse (C-Achse 14) drehbar und ein Schleifschlitten (20) mit einer Schleifscheibe (21) entlang einer zweiten Achse (X-Achse 23) radial auf die Nockenwelle (10) zustellbar ist, wobei die Drehung der Nockenwelle (10) um die erste Achse (14) in Abhängigkeit von der Verschiebung des Schleifschlittens (21) entlang der zweiten Achse (23) einstellbar ist, **gekennzeichnet durch** die Schritte:

- Erstellen einer Folge von Steuerbefehlen (X_{i1} , C_i) zur Einstellung der ersten und der zweiten Achse (14, 23) in Abhängigkeit von einer vorgegebenen Form des Nockens (11);
- Verdrehen der Aufspannung (12) um die erste Achse (14) und Verschieben des Schleifschlittens (20) entlang der zweiten Achse (23) entsprechend den Steuerbefehlen (X_{i1} , C_i) in Abwesenheit einer in die Aufspannung (12) eingespannten Nockenwelle (10);
- Erfassen der von der Aufspannung (12) eingenommenen Drehwinkel (C_i) mittels eines Winkelsensors (30) wie der von dem Schleifschlitten (20) durchgemessenen Verschiebewege (X_{i2}) mittels eines Längensensors (31);
- Bilden einer Differenz (Δ_1) der erfaßten Meßwerte von Drehwinkel (C_i) und Verschiebeweg (X_{i2}) von den Steuerbefehlen (X_{i1} , C_i);
- Modifizieren der Steuerbefehle (X_{i3} , C_i) in Abhängigkeit von der Differenz (Δ_1);

— Einspannen einer Nockenwelle (10) in die Aufspannung (12) und Schleifen der Nocken (11) mit den modifizierten Steuerbefehlen (X_{i3} , C_i).

Hierzu 2 Seite(n) Zeichnungen

5

10

15

20

25

30

35

40

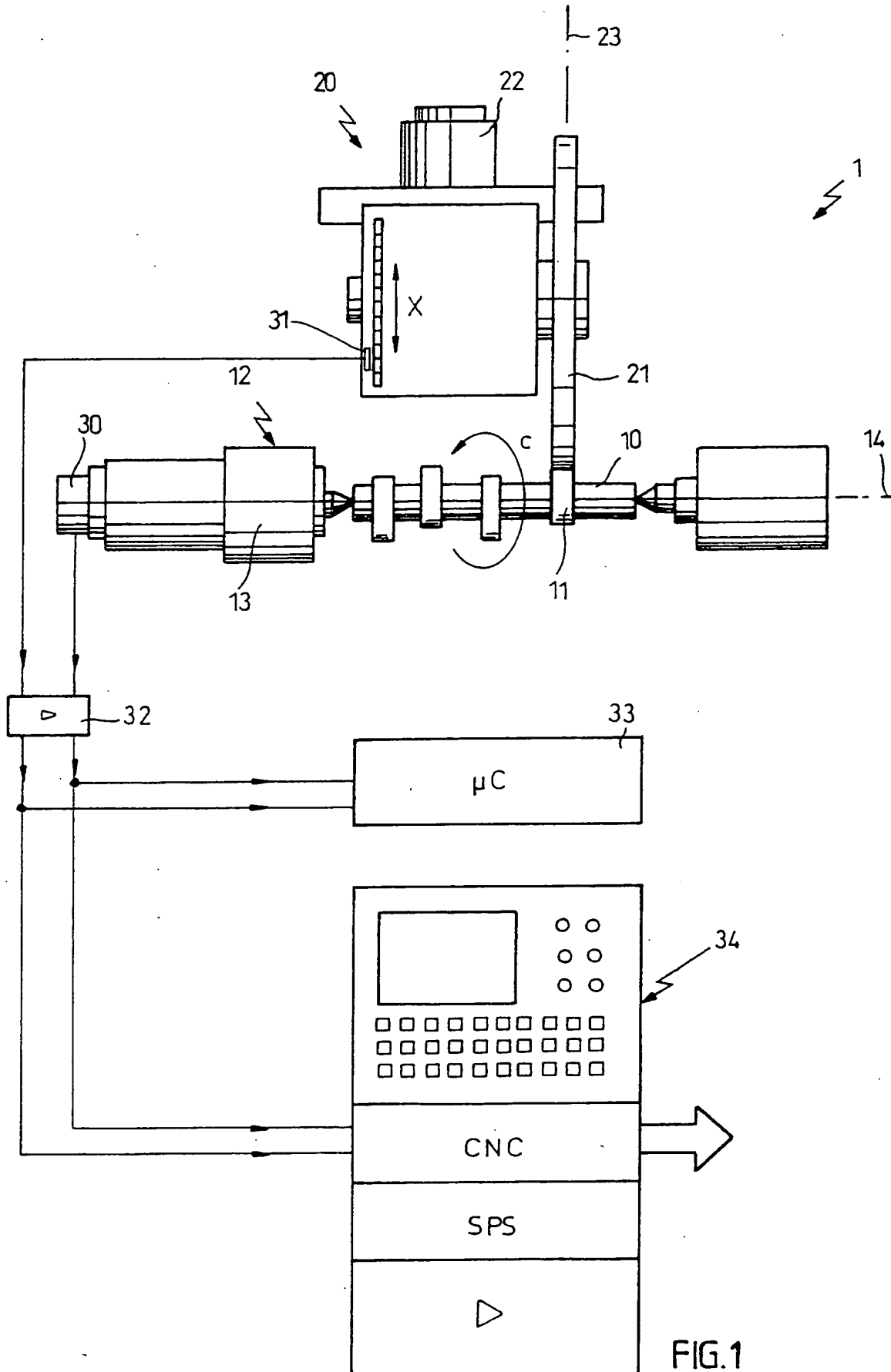
45

50

55

60

65



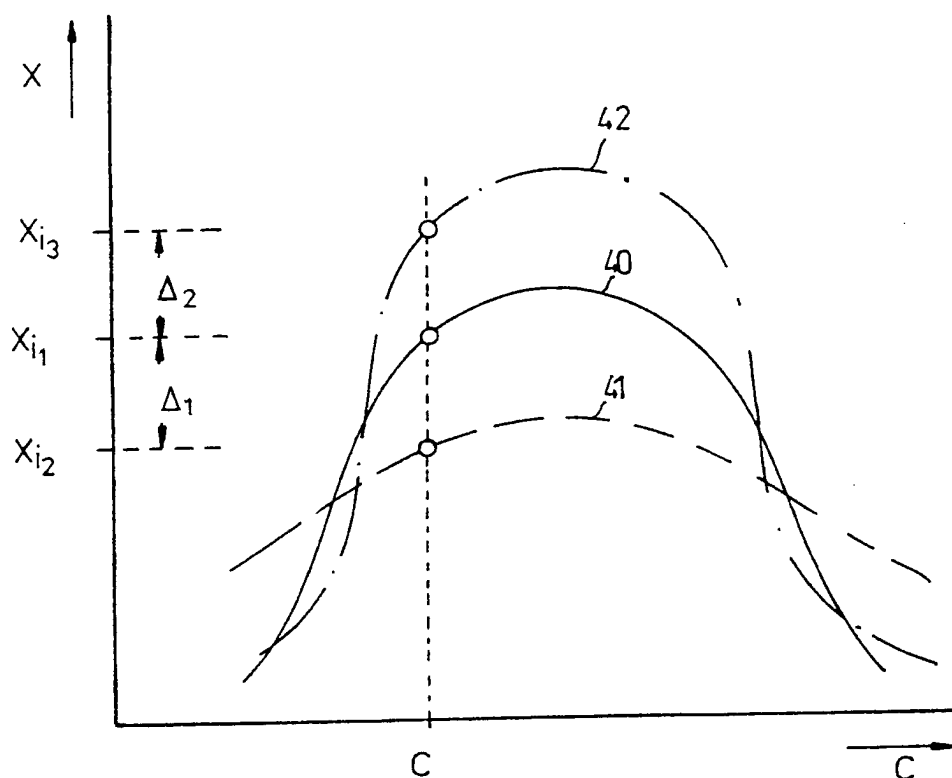


FIG. 2